

УДК 535.241.61

Д. П. Зубков, асп.

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ГОНИОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕТОДИОДОВ

Для создания общей методики определения фотометрических и радиометрических характеристик светодиодов (СД) МКО разработаны рекомендации по их измерению [1]. В результате анализа этих рекомендаций [2] выявлено, что проблема описана в целом, поэтому выбор путей реализации привязки к существующим национальным эталонам и схемам поверки ложится на плечи национальных метрологических институтов. Также остается открытым вопрос, какими характеристиками должны обладать эталонные средства измерения фотометрических характеристик СД.

В Украине на данный момент отсутствует верхнее эталонное звено в области измерений СД. Поэтому встала острая необходимость в создании эталонной базы средств измерения фотометрических характеристик СД, а также в разработке методик проведения калибровки средств измерения и их привязки к государственному первичному эталону.

Ниже приведен анализ возможных средств измерения, пожалуй, самой важной фотометрической величины любого источника света – светового потока. Самой важной – поскольку четыре другие фотометрические величины определяются через световой поток с учетом лишь геометрических факторов. Поскольку световой поток отличается от энергетического на $K_m V(\lambda)$, здесь и далее речь будет идти только о световом потоке.

Как определено в [2], измерение светового потока СД имеет свои особенности. Конструкция, спектральный состав излучения, условия питания и температурного менеджмента этих источников света обуславливают необходимость выполнения особых требований к методике измерения фотометрических характеристик, конструкции средств измерения и их калибровке.

Методы измерения светового потока

Световой поток источника света определяется как совокупный поток в телесном угле 4π стерадиан, и равен интегральному значению сил света в полном телесном угле,

$$\Phi = \int_{\Omega} I d\Omega,$$

или интегралу освещенности по всей внутренней площади поверхности воображаемой сферы, замкнутой вокруг источника света,

$$\Phi = \int_A E dA.$$

Следовательно, световой поток любого источника света может быть определен двумя принципиально разными методами:

- методом интегрирующей сферы;
- гониометрическим методом.

Метод интегрирующей сферы имеет существенные преимущества, такие как практически мгновенное измерение величины светового потока, мгновенное измерение спектральных характеристик (при использовании спектрометра на базе ПЗС матрицы), а также занимают меньшую площадь в сравнении с некоторыми часто применяемыми типами гониофотометров. Суть метода заключается в сравнении уровня освещенности чувствительного элемента датчика, поочередно облучаемого многократно отраженным от внутренних стенок сферы потоком тестируемого и эталонного источника света. Стенки сферы покрыты неселективным покрытием с высоким коэффициентом отражения. Такой состав позволяет рассеивать отраженный свет в соответствии с законом Ламберта при минимальных потерях на отражении.

Однако метод интегрирующей сферы имеет ряд недостатков (в большинстве своем вызванных отличием реального прибора от теоретической модели), а именно:

- необходимость эталонного источника света;
- влияние разности спектрального состава излучения эталонного и тестируемого источников;
- влияние разности пространственного распределения интенсивности излучения эталонного и тестируемого источников;
- разность размеров и коэффициентов поглощения эталонного и тестируемого источников;
- влияние неравномерности покрытия по поверхности
- изменение отражающей способности покрытия со временем, а также изменение отражающих характеристик при воздействии на них повышенной температуры (высыхание).

Самым важным недостатком метода интегрирующей сферы является необходимость иметь в наличии эталонный источник света. В мировой практике для создания такого источника используется либо гониофотометр либо интегрирующая сфера с внешним источником [3]. Однако в случае использования сферы с внешним источником для эталонных измерений также необходимо знать пространственное распределение источника света для учета неопределенности, зависящей от пространственной неравномерности коэффициента отражения покрытия стенок сферы. К примеру, в NIST (США) для этих целей используется гониоспектрорадиометр [4] (рис. 1).

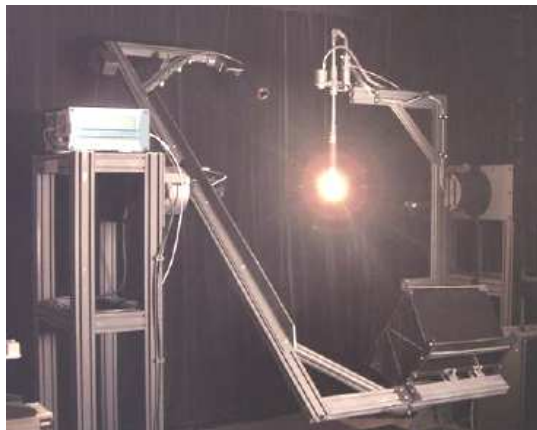


Рис. 1 – Гониоспектрорадиометр в NIST (США) для измерения полного спектрального энергетического потока и пространственного распределения излучения источника

Методика измерения светового потока гониофотометром

Методика измерения потока гониофотометром состоит в том, чтобы измерить силу света или освещенность от источника во всех направлениях. Для этого пространство, окружающее источник, делится на некоторое количество плоскостей и измеряется интенсивность излучения во всех направлениях, лежащих в пределах каждой плоскости. Величина угла между плоскостями и направлениями измерения определяется индивидуально для каждого типа источника либо осветительного прибора. Чем больше плоскостей и меньше угол между направлениями измерения в каждой плоскости, тем более точным будет значение результирующего потока, однако и время, затраченное на измерение, увеличится соответственно.

Существует три наиболее распространенные системы плоскостей измерения, так называемые А-, В- и С-плоскости. Углы направлений измерения в каждой из плоскостей имеют соответственно обозначения α -, β - и γ -угол.

Система А-плоскостей – это система плоскостей измерения, линия пересечения которых проходит через фотометрический центр источника света либо осветительного прибора, параллельна излучающей поверхности и перпендикулярна продольной оси источника либо осветительного прибора.

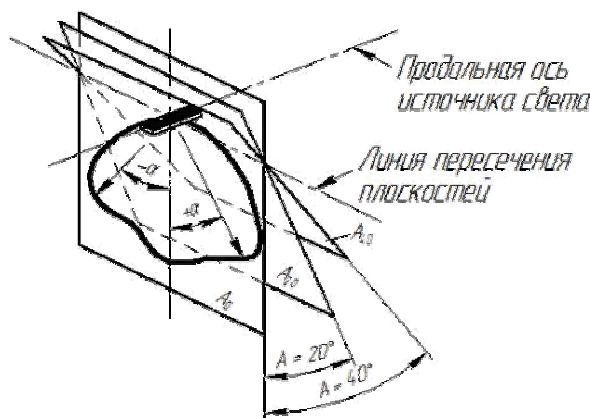


Рис. 2 – Система А-плоскостей измерения

Система В-плоскостей – система плоскостей измерения, линия пересечения которых проходит через фотометрический центр, параллельна продольной оси источника и перпендикулярна линии пересечения А-плоскостей.

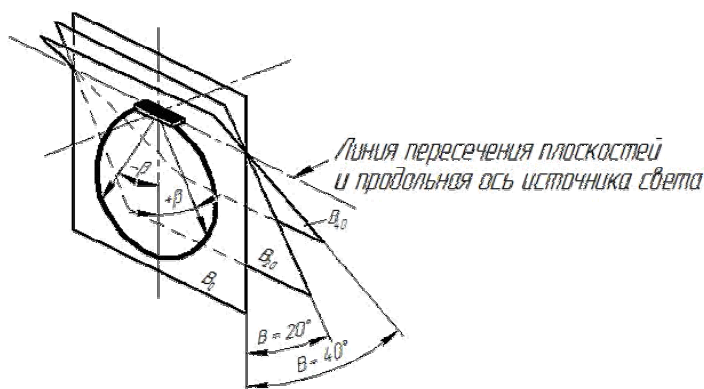


Рис. 3 – Система В-плоскостей измерения

Система С-плоскостей – система плоскостей измерения, линия пересечения которых совпадает с оптическим центром источника света либо осветительного прибора.

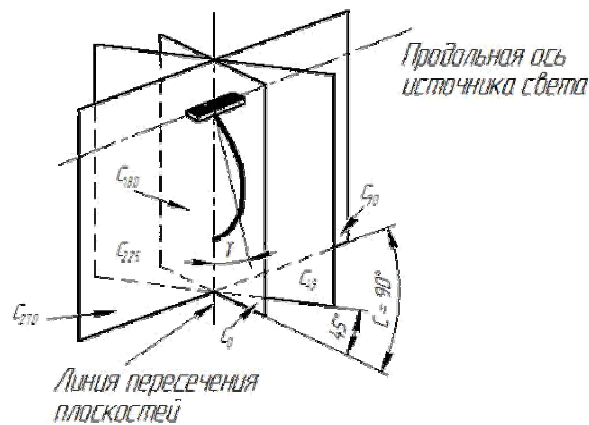


Рис. 4 – Система С-плоскостей измерения

Типы гониофотометров

Все существующие типы гониофотометров можно разделить на три группы: с подвижным источником света, подвижной фотометрической головкой и гониофотометры с вращающимся зеркалом [5].

1. Гониофотометр с подвижным источником света.

В устройствах первой группы источник света вращается вокруг своей горизонтальной и вертикальной оси, при этом фотометрическая головка остается фиксированной. Разумеется, при помощи гониофотометров такой конструкции возможно измерять только те источники, у которых пространственное распределение силы света не зависит от рабочего положения и температуры (например, лампы накаливания). Однако конструкция и стоимость приборов такого типа являются наиболее простыми и дешевыми. При использовании гониофотометров этой группы световой поток рассчитывается через пространственное распределение сил света, которые определяются по закону квадратов расстояний.

Существует три типа гониофотометров с подвижным источником света.

Первый тип. Гониофотометр, при измерении которым горизонтальная ось источника света фиксирована, а подвижной является ось, перпендикулярная к горизонтальной. Измерения выполняются в системах А- или В-плоскостей (когда источник света вращается вокруг горизонтальной оси, а вторая ось находится в фиксированном положении).

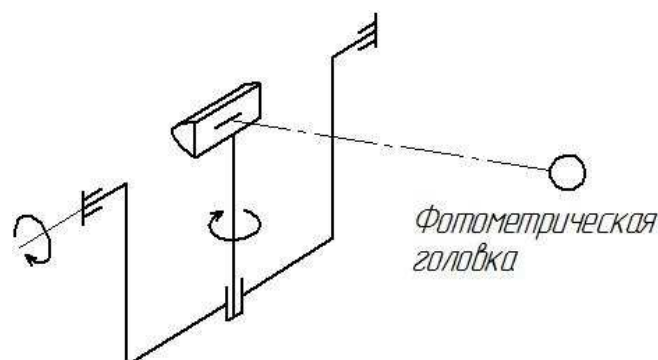


Рис. 5 – Гониофотометр с устройством для вращения источника света, тип 1.

Второй тип гониофотометров устроен таким образом, что измерения ведутся при фиксированной вертикальной оси источника света, а подвижной является горизонтальная ось. Измерения выполняются в системах плоскостей А и В.

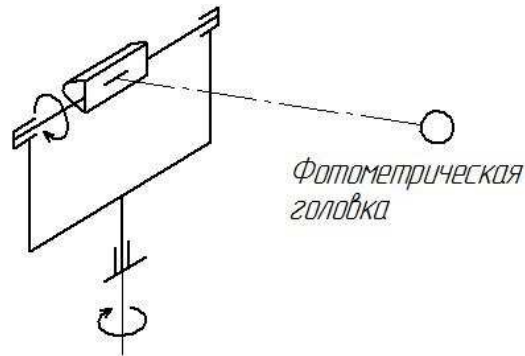


Рис. 6 – Гониофотометр с устройством для вращения источника света, тип 2.

Третий тип – гониофотометр, предназначенный для измерений в системе С-плоскостей при фиксированной вертикальной оси источника света и подвижной горизонтальной. Такой тип гониофотометра позволяет также проводить измерения распределения излучения в системе конических поверхностей [СІЕ-70].

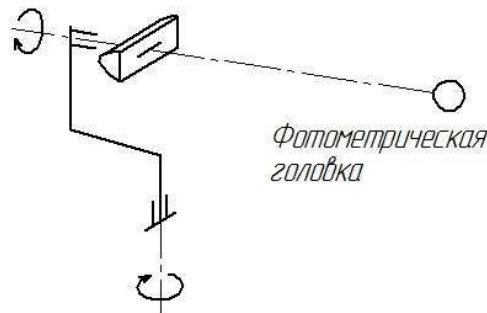


Рис. 7 – Гониофотометр с устройством для вращения источника света, тип 3.

2. Гониофотометр с подвижной фотометрической головкой.

В гониофотометрах этого типа источник света вращается вокруг вертикальной оси, а фотометрическая головка перемещается относительно источника света в вертикальной плоскости. Гониофотометры этого типа позволяют измерять источники света и светильники с ними в их рабочем положении, поскольку источник поворачивается только вокруг вертикальной оси. Существует три типа гониофотометров с подвижной фотометрической головкой. Все три типа позволяют выполнять измерения в системе С-плоскостей или в системе конических поверхностей.

Первый тип. Источник света вращается вокруг вертикальной оси, проходящей через точку пересечения вертикальной и горизонтальной оси светильника. Фотометрическая головка вращается вокруг горизонтальной оси.

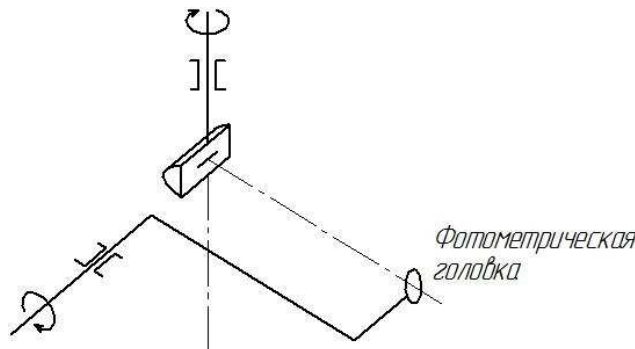


Рис. 8 – Гониофотометр с подвижной ФГ, тип 1.

Второй тип. Источник света и ФГ размещены на противоположных плечах траверсы, которая вращается вокруг горизонтальной оси, проходящей через ее центр. ФГ жестко фиксирована, а горизонтальный вал удерживает источник таким образом, что он играет роль отвеса при вращении траверсы. Источник света вращается вокруг вертикальной оси, находясь при этом в предписанном положении. Измерения проводятся в системе С-плоскостей. При использовании такого типа гониофотометров необходимо учитывать влияние охлаждения источника света воздухом при движении траверсы.

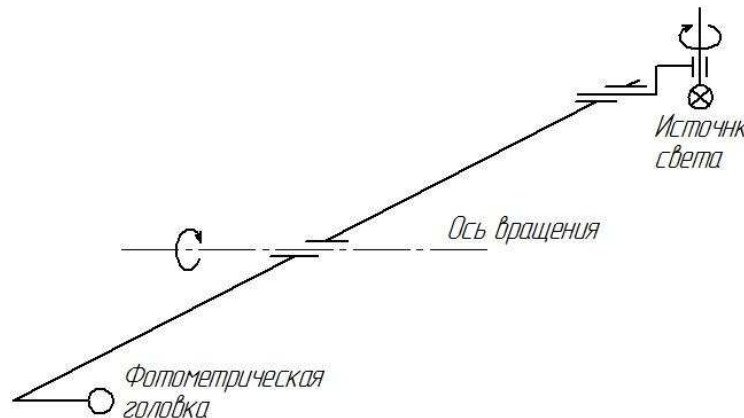


Рис. 9 – Гониофотометр с подвижной ФГ, тип 2.

Третий тип. Источник света вращается вокруг вертикальной оси, а ФГ движется вдоль прямых линий (горизонтальной и вертикальной), лежащих в С-плоскости.

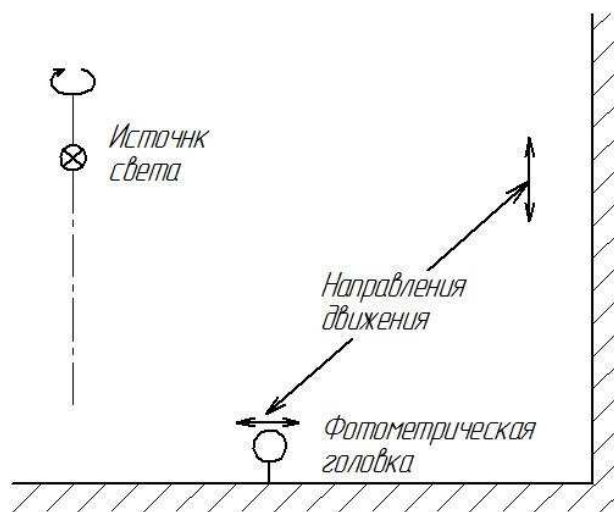


Рис. 10 – Гониофотометр с подвижной ФГ, тип 3.

3. Гониофотометр с поворотным зеркалом.

В гониофотометрах этой группы источник света вращается вокруг вертикальной оси, а зеркало вращается вокруг горизонтальной оси, при этом ФГ находится в фиксированном положении. Источник света может быть закреплен в рабочем положении горения благодаря тому, что он вращается только вокруг вертикальной оси. Следовательно, все типы ламп и светильников с ними могут быть измерены гониофотометрами этой группы. Ниже приведены наиболее распространенные схемы конструкции гониофотометров с поворотным зеркалом.

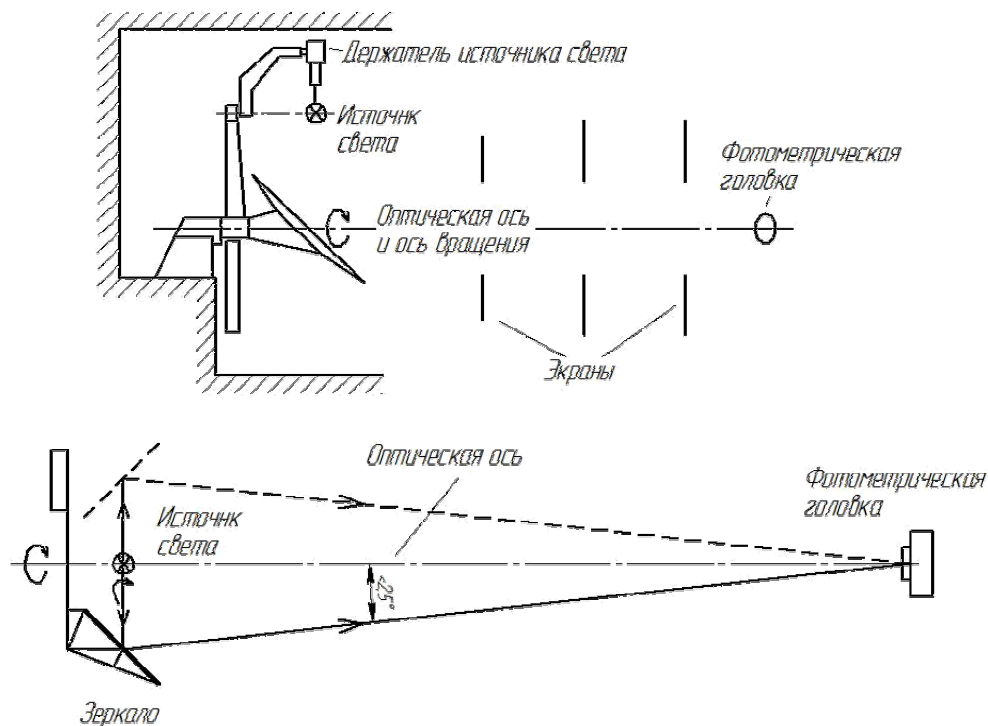


Рис. 11 – Типы гониофотометров с поворотным зеркалом

При измерениях гониофотометрами с поворотным зеркалом необходимо обеспечить хорошее экранирование прямого излучения от источника света, а также отраженного света от поверхностей в помещении. Измерения выполняются в системе С-плоскостей или в системе конических поверхностей.

Источники погрешности при измерении светового потока гониофотометром.

- Неточность изготовления механических частей гониофотометра.
- Неопределенность, зависящая от точности измерения расстояния от чувствительной поверхности ФГ и центра вращения.
- Неопределенность зависящая от расположения ФГ.
- Неточность воспроизведения угла.
- Слишком большой угловой шаг.
- Неопределенность измерения датчиком.
- Слишком высокая скорость смены угла, что влияет на точность интегрирования светового потока при питании переменным током.
- Влияние затенения конструктивными элементами гониофотометра.
- Блуждающий свет.
- Неопределенность калибровки, зависящая от эталона.
- Нестабильность источника света или других частей системы в течении измерений.

Определение подходящего типа гониофотометра

На данный момент особо остро стоит вопрос измерения светового потока мощных СД, на основе которых создаются приборы для целей общего освещения. Особенностью таких источников света является распределение излучения только в одну полусферу.

Из рассмотренных типов гониофотометров наиболее привлекательным с экономической, технической и эргономической точки зрения для выполнения поставленной задачи представляется устройство с вращающимся источником, тип 3.

Как оговаривалось выше, его недостаток – изменение положения источника во время измерения и, как следствие, нестабильность излучения источника. Однако при измерении светодиодов (в том числе мощных) этот недостаток достаточно успешно компенсируется применением установки температурной регуляции источника света [6]. Такой подход одновременно позволяет выполнять измерения в том же режиме, в котором СД будет работать в конечном продукте.

Поскольку измерения предполагается выполнять преимущественно для мощных СД, влияние затенения конструктивными элементами сводятся к минимуму при использовании выбранного типа гониофотометра.

Погрешности, зависящие от устройства для смены угла, могут быть снижены за счет использования шаговых двигателей в режиме микрошага либо применением редукторов. Погрешности, вызываемые юстировкой положения источника света и ФГ, могут быть снижены за счет использования точных юстировочных устройств и оптических прицелов. Прочие источники неопределенности могут быть учтены в достаточной мере применением соответствующих поправок.

Таким образом, создаваемый гониофотометр позволит определять пространственное распределение излучения СД и полный световой поток источника света в режиме, аналогичном режиму работы СД в конечном продукте. Измерение распределения излучения СД со смонтированной на нем вторичной оптикой позволит определять форму КСС будущего осветительного прибора.

Литература

1. CIE 127-2007. Measurement of LEDs, 2007.
2. Л.А. Назаренко, Д.П. Зубков, С.А. Рева «Методи вимірювання сили світла та світлового потоку світлодіодів». Український метрологічний журнал, 2010, №3. с.29-33.
3. Zong, Y., Ohno, Y. «Realization of total spectral radiant flux scale and calibration service at NIST». 2007.
4. Zong, Y. «Luminous flux and color measurement of high-power LEDs». CORM 2009 Annual Conference and Business Meeting.
5. CIE 70-1987. The Measurement of Absolute Luminous Intensity Distributions.
6. Y. Zong and Y. Ohno. New practical method for measurement of high-power LEDs. Proc. CIE Expert Symposium on Advances in Photometry and Colorimetry. CIE x033:2008, 102-106 (2008)

ГОНІОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ СВІТЛОДІОДІВ

Д. П. Зубков

Проведено аналіз існуючих методів вимірювання світлового потоку. Розглянуто різні типи конструкцій гоніофотометрів, наведено обґрунтування вибору типу гоніофотометра для еталонних вимірювань та шляхи зниження похибок вимірювання при його використанні.

GONIOMETRIC METHOD FOR MEASUREMENT OF LEDS

D. P. Zubkov

The article deals with the analysis of existing methods of measurement of luminous flux. Considered different types of construction goniophotometer, rationale for choosing the type of goniophotometer and ways to reduce measurement errors when using this type.